民勤黑果枸杞形态学特征与土壤因子的关系①

马俊梅[1,2]， 郭春秀[1,2]， 肖 斌[2]， 金红喜[2]， 赵 鹏[1,2]， 马剑平[2]
（1. 甘肃省荒漠化与风沙灾害防治重点实验室，甘肃 武威 733000；2. 甘肃省治沙研究所，甘肃 兰州 730000）

摘　要：通过对民勤绿洲外围4种不同立地类型黑果枸杞群落物种组成、生长特征、土壤因子等的调查，分析不同立地类型土壤因子对黑果枸杞生长的影响。结果表明：① 不同立地类型黑果枸杞群落物种结构简单，共出现12科24属28种，存在多个单属单科单种现象，多为适应干旱盐碱化的藜科、蒺藜科植物，无乔木和高大灌木，黑果枸杞在不同立地类型中优势地位明显。② 黑果枸杞群落丰富度指数砾石地高于盐碱地、覆沙地及固定或半固定沙丘地（$P<0.05$）；多样性指数砾石地高于盐碱地，盐碱地高于覆沙地及固定或半固定沙丘地（$P<0.05$）。③ 不同立地类型黑果枸杞密度表现为：盐碱地 > 覆沙地 > 固定或半固定沙丘地 > 砾石地。株高表现为：固定或半固定沙丘地 > 盐碱地 > 覆沙地 > 砾石地。冠幅表现为：固定或半固定沙丘地 > 盐碱地 > 砾石地 > 覆沙地。④ 土壤速效钾、有效磷、全磷及有机质含量均为盐碱地显著高于其他3个立地类型（$P<0.05$），全钾、全氮含量在4种不同立地类型之间差异性不显著（$P>0.05$）。不同土层中土壤因子变化规律不同。⑤ 土壤水分随土层深度的增加变化趋势不同，砾石地和固定或半固定沙丘地中土壤含水率随土层深度的增加而增加，覆沙地随土层深度的增加呈现波动变化，盐碱地随土层深度的增加变化不大。⑥ 黑果枸杞的生长状况和形态学特征株高、冠幅等受土壤水分、土壤氮、磷、钾及有机质等土壤因子的影响和制约，且10～20 cm土层深度土壤因子影响最为密切。

关键词：绿洲外围；不同立地类型；黑果枸杞；土壤因子；民勤；甘肃

民勤绿洲位于石羊河流域下游，气候干旱，年降雨量稀少，石羊河是唯一的地表水源。近年来，由于石羊河流域水资源分配不匀，中上游地区用水量大，使进入下游的水量逐年减少，导致下游地区地下水位下降，土地沙化、盐渍化面积不断扩大，民勤绿洲外围荒漠区大面积的天然植被衰退、死亡，生态日趋恶化[1-3]。民勤地处河西走廊东端最狭窄地段，东、北、西三面环沙，就像一个楔子嵌入巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠之间，在中国生态安全建设和生物多样性保护方面具有重要区位。因此，民勤一直是环境保护和生态治理方面研究的热点区域。

黑果枸杞（*Lycium ruthenicum* Murr.）也称苏枸杞，为茄科（Solanaceae）枸杞属（*Lycium*）耐盐、抗旱灌木，在中国西北荒漠地区呈片状分布[4]。黑果枸杞常生于盐碱荒地、沙地或路旁[5]，是民勤绿洲外围荒漠区重要建群种之一，以其为优势种的灌木群落为维持石羊河下游荒漠生态系统发挥着重要作用。近年来，随着黑果枸杞保健功效逐渐被消费者认可，许多学者对黑果枸杞人工繁育、成分分析与测定、色素提取以及黑果枸杞种群分布格局等[6-10]方面进行了大量的研究，但对干旱半干旱地区黑果枸杞生长特征、生长环境及其之间的相关关系鲜见报道。

植物生长分布与环境因子相互影响和制约，所有的环境因子中，土壤对植物的生长和分布起着非常重要的作用[11]。因此，本文以民勤绿洲外围不同立地类型黑果枸杞群落为研究对象，调查黑果枸杞生长状况及生长区土壤因子，分析土壤因子对黑果枸杞生长的影响及其相关关系，为植物保护、产业合理开发及维护石羊河流域下游生态平衡提供理论依据。

1　研究方法

1.1　研究区概况

研究区位于石羊河流域下游民勤绿洲外围的荒漠地段，地理位置103°02′～104°02′E，38°05′～39°06′N，海拔1 306～1 345 m；年平均气温7.6 ℃，极端高温38.1 ℃，极端低温－28.8 ℃，年日照时数2 832.1 h；研究区常年干燥，降水稀少而蒸发强烈，

① 收稿日期：2019－05－26；　修订日期：2019－09－02
基金项目：国家自然科学基金项目（31560128）；甘肃省重点研发项目（17YF1FA113）；甘肃省基金项目（18JR3RA018）
作者简介：马俊梅（1968－），女，高级工程师，主要从事植被修复及荒漠化防治. E-mail：gsmqyz@tom.com
通讯作者：郭春秀. E-mail：guochunxiu0414@163.com

年均降水量 110 mm,主要集中在 7—9 月,年均蒸发量 2 604.3 mm,是降水量的 23.6 倍;全年风沙日达 83 d,年均风速 2.3 $m \cdot s^{-1}$,最大风速 23.0 $m \cdot s^{-1}$;地表水以石羊河为主,地下水埋深 18 ~ 25 m,受上游来水的限制和人为过度开采,地下水下降速度较快。区域气候条件严酷,植被稀疏、种类少、生长缓慢,以旱生和超旱生灌木和草本为主。灌木主要有黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、泡泡刺(*Nitraria sphaerocarpa*)、盐爪爪(*Kalidium foliatum*)、红砂(*Reamuria songarica*)等,草本主要有盐生草(*Halogeton glomeratus*)、雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、碟果虫实(*Corispermum patelliforme*)、骆驼蒿(*Peganum nigellastrum*)、黄花矶松(*Limonium aureum*)、西伯利亚滨藜(*Atriplex sibirica*)、砂蓝刺头(*Echinops gmelini*)、芦苇(*Phragmites australis*)、画眉草(*Eragrostis pilosa*)等。土壤多为灰棕漠土或石膏灰棕漠土,土壤表层紧实,部分地区有沙化现象,剖面发育微弱。根据荒漠草地土壤和植被特点,民勤绿洲外围黑果枸杞群落立地类型可分为砾石地、覆沙地、固定或半固定沙丘地和盐碱地等 4 大类[12]。

1.2　样地设置与植被调查

2016 年 7 月,在民勤绿洲外围荒漠区对黑果枸杞分布情况进行了详细踏查,然后根据土壤和植被特点,选择气候因子一致、有黑果枸杞种群分布的 4 种不同立地类型为调查样地,样地分别在民勤绿洲外围的丰庆滩(覆沙地)、青土湖(盐碱地)、莱菔山(砾石地)、西沙窝(固定或半固定沙丘地)(表 1)。在每个样地内设置 50 m×50 m 的大样方,每个大样方内采用 5 点法设置 5 个 10 m×10 m 的小样方。随即对小样方内黑果枸杞的密度、株高、冠幅等进行逐株调查,同时调查其他植物种数、个体数量、株高、冠幅等。

1.3　物种多样性测度

在野外采集样方调查数据的基础上,采用物种的生态重要值(important value index, IVI)[13]测度群落的种群组成。Margalef 指数(D)衡量植物群落的丰富度;Shannon-Wiener(H)[14]指数衡量植物群落的多样性特征;Pielou 指数[15]衡量植物群落物种分布的均匀程度。以上 4 个指数计算公式如下:

$$IVI = (相对频度 + 相对密度 + 相对盖度)/3 \quad (1)$$

$$D = (S - 1)/\ln N \quad (2)$$

$$H = 1 - \sum_{i=1}^{S} P_i \ln P_i \quad (3)$$

$$E = H/H\max \quad (4)$$

式中:S 为样方内总物种数;$P_i = N_i/N$,N_i 为样方中第 i 个物种的株数,N 为样方内所有物种的个体总数;$H\max$ 为样方内最大物种多样性指数,$H\max = \ln S$。

表 1　民勤绿洲外围黑果枸杞种群调查样地特征

Tab. 1　The character of research region of *Lycium ruthenicum* population in the periphery of Minqin oasis

立地类型	样 地	经纬度	海拔/m	样地特点
覆沙地	丰庆滩	38°45′51″N,103°30′47″E	1 326	湖积平原,土壤为沙土或黏土,黑果枸杞群落与盐爪爪群落交错分布,长势良好
盐碱地	青土湖	39°03′09″N,103°36′15″E	1 306	退耕地,盐碱土,黑果枸杞为优势种,主要伴生种为芦苇,长势良好
砾石地	莱菔山	38°49′39″N,102°56′53″E	1 345	山前冲洪积扇,砾石戈壁边缘,在冲沟边缘或低洼滩地分布黑果枸杞,生长一般
固定或半固定沙丘	西沙窝	38°58′07″N,103°06′09″E	1 324	固定或半固定沙丘,土壤以风沙土为主,黑果枸杞种群分布在白刺沙包及丘间地,长势良好

1.4　土样采集

在调查样地植被的同时,每个样地内随机选择 3 个样点(3 个重复),用土钻在距离黑果枸杞植株 10 cm 的地方采集深度 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm、20 ~ 40 cm、40 ~ 60 cm 土层的土样;在土样采集的过程中,对每一样点每一土层土样的 1/3 随即进行称重,即土壤的鲜重,后带回室内烘干再称干重,以此进行土壤水分分析;将其余 2/3 的 3 个样点同一深度土层的土样均匀混合,然后平均分成 2 份封装好带回实验室,用于土壤理化性质、有机质等因子的测定。

1.5　土壤因子测定方法

土壤有机质采用重铬酸钾氧化外加热法;土壤全氮采用凯氏蒸馏法;土壤全磷、有效磷采用氢氧化钠溶液－钼锑抗比色法;土壤全钾、速效钾采用原子吸收分光光度法[16];土壤含水量采用烘干法测定,使用重量百分比表示:土壤重量含水率＝[(土壤鲜质量(g) － 土壤干质量(g))/土壤干质量(g)]×100%。

1.6 数据统计与分析

利用 Excel 2016 对调查数据进行录入、整理和计算,使用 SPSS 20 软件对 4 种不同立地类型黑果枸杞群落的丰富度、多样性和均匀度指数,以及株高、冠幅等特征与土壤相关因子的差异进行单因素方差分析,差异显著性使用 SNK 法检验。之后用逐步多元线性回归(Stepwise)方法分析不同立地类型黑果枸杞形态特征与土壤因子之间的关系。

2 结果与分析

2.1 不同立地类型黑果枸杞群落物种构成与多样性特征

调查表明,不同立地类型黑果枸杞群落结构简单,调查样地内共出现物种 12 科 24 属 28 种,其中砾石地物种最多,有 21 种,其次为盐碱地 13 种,固定或半固定沙丘地和覆沙地中物种较少,均为 7 种。群落内物种多为单属单科单种,以抗旱抗盐碱化的灌木、小灌木及草本为主,无乔木和高大灌木。

在不同立地类型黑果枸杞群落中,黑果枸杞的重要值不同,但总体优势较为明显(表 2),在固定或半固定沙丘地和覆沙地中黑果枸杞为优势种,重要值分别为 38.05 和 22.61;在砾石地中为亚优势种,重要值为 16.91;在盐碱地中为主要伴生种,重要值为 17.64,且重要值远大于其他伴生种。

不同立地类型黑果枸杞群落的物种丰富度(Margalef)、多样性(Shannon-Wiener)和均匀度(Pielou)指数如图 1 所示。砾石地的丰富度指数显著高于覆沙地、盐碱地和固定或半固定沙丘地($P<0.05$);砾石地的物种多样性指数高于盐碱地,盐碱地高于覆沙地和固定或半固定沙丘地,差异均具有

表 2 不同立地类型黑果枸杞群落中主要物种重要值

Tab. 2 Important value of main species of *Lycium ruthenicum* community in different site types

立地类型	覆沙地		盐碱地		砾石地		固定或半固定沙丘	
	物种	重要值	物种	重要值	物种	重要值	物种	重要值
优势种	黑果枸杞	22.61	雾冰藜	27.51	画眉草	18.94	黑果枸杞	38.05
亚优势种	猪毛菜	18.73	盐生草	25.73	黑果枸杞	16.91	白刺	26.22
主要伴生种	五星蒿	14.42	黑果枸杞	17.64	白刺	8.82	碟果虫实	23.22
	盐生草	13.06	红砂	11.00	骆驼蒿	8.53	雾冰藜	9.71
	白刺	12.39	黄花矶松	6.33	盐生草	6.85	猪毛菜	7.35
	西伯利亚滨藜	8.32	白刺	4.50	沙蓝刺头	6.15	芦苇	6.84
			盐爪爪	4.44	雾水藜	5.40	骆驼蒿	4.26
			骆驼蒿	3.21	猪毛菜	5.01		
			西伯利亚滨藜	3.14	泡泡刺	4.55		
					盐爪爪	2.86		

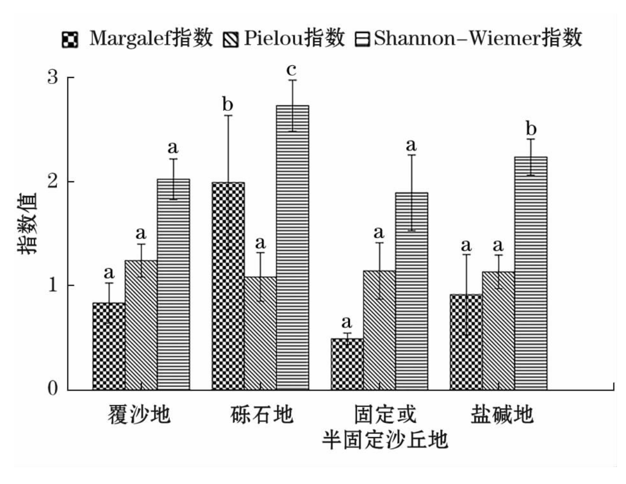


图 1 不同立地类型黑果枸杞群落多样性指数

Fig. 1 Biology diversity of *Lycium ruthenicum* community in different site types

统计学意义($P<0.05$);均匀度指数在不同立地类型之间差异性不显著($P>0.10$)。

2.2 不同立地类型黑果枸杞主要生物学特征

不同立地类型中黑果枸杞种群密度、株高、冠幅等生物学特征差异均显著($P<0.05$,表 3)。群落密度从小到大依次为砾石地、固定或半固定沙丘地、覆沙地、盐碱地;株高从大到小依次为固定或半固定沙丘地、盐碱地、覆沙地和砾石地;冠幅从大到小依次为固定或半固定沙丘地、盐碱地、砾石地和覆沙地。

2.3 不同立地类型黑果枸杞群落土壤因子特征

石羊河下游不同立地类型黑果枸杞群落土壤因子测定表明(表 4):盐碱地中土壤速效钾、有效磷、全磷及有机质的含量显著高于其他立地类型($P<0.05$);覆沙地和砾石地中速效钾含量显著高于固

表 3　不同立地类型黑果枸杞特征

Tab. 3　Characteristics of *Lycium ruthenicum* in different site types

立地类型	种群密度/(株·m⁻²)	株高/cm	冠幅/cm
覆沙地	1.34 ±0.18bc	21.34 ±5.68b	22.90 ±5.93a
盐碱地	1.79 ±0.27c	26.10 ±4.20b	30.90 ±4.38b
砾石地	0.18 ±0.03a	18.71 ±4.40a	26.90 ±4.59ab
固定或半固定沙丘	0.61 ±0.15b	49.90 ±4.10c	51.50 ±4.19c

注:同列不同小写字母表示不同立地类型间差异显著($P<0.05$)。下同

定或半固定沙丘地($P<0.05$);砾石地中的有效磷含量显著高于覆沙地和固定与半固定沙丘地($P<0.05$)。土壤全钾和全氮含量在 4 种不同立地类型中差异性不显著($P>0.05$)。

土壤因子在不同土层中呈现出不同的变化特征(图 2):① 在较浅土层(0～10 cm、10～20 cm、20～40 cm)中盐碱地的土壤速效钾含量高于覆沙地、砾石地及固定或半固定沙丘,且具显著性差异($P<0.05$),覆沙地、砾石地及固定或半固定沙丘地三者

表 4　不同立地类型黑果枸杞群落土壤因子

Tab. 4　Soil factors under different site types of *Lycium ruthenicum* communities

样地类型	速效钾/(g·kg⁻¹)	全钾/(g·kg⁻¹)	有效磷/(g·kg⁻¹)	全磷/(g·kg⁻¹)	全氮/(g·kg⁻¹)	有机质/%
覆沙地	0.587 ±0.151b	0.719 ±0.169	0.460 ±0.206a	3.67 ±0.690a	2.59 ±0.250	0.313 ±0.105a
盐碱地	0.775 ±0.114c	0.739 ±0.131	1.259 ±0.313c	5.11 ±0.490b	2.66 ±0.140	0.847 ±0.161b
砾石地	0.593 ±0.194b	0.656 ±0.108	0.874 ±0.496b	3.76 ±0.790a	2.72 ±0.130	0.274 ±0.063a
固定或半固定沙丘	0.445 ±0.114a	0.755 ±0.136	0.542 ±0.151a	3.25 ±0.450a	2.93 ±0.760	0.349 ±0.118a

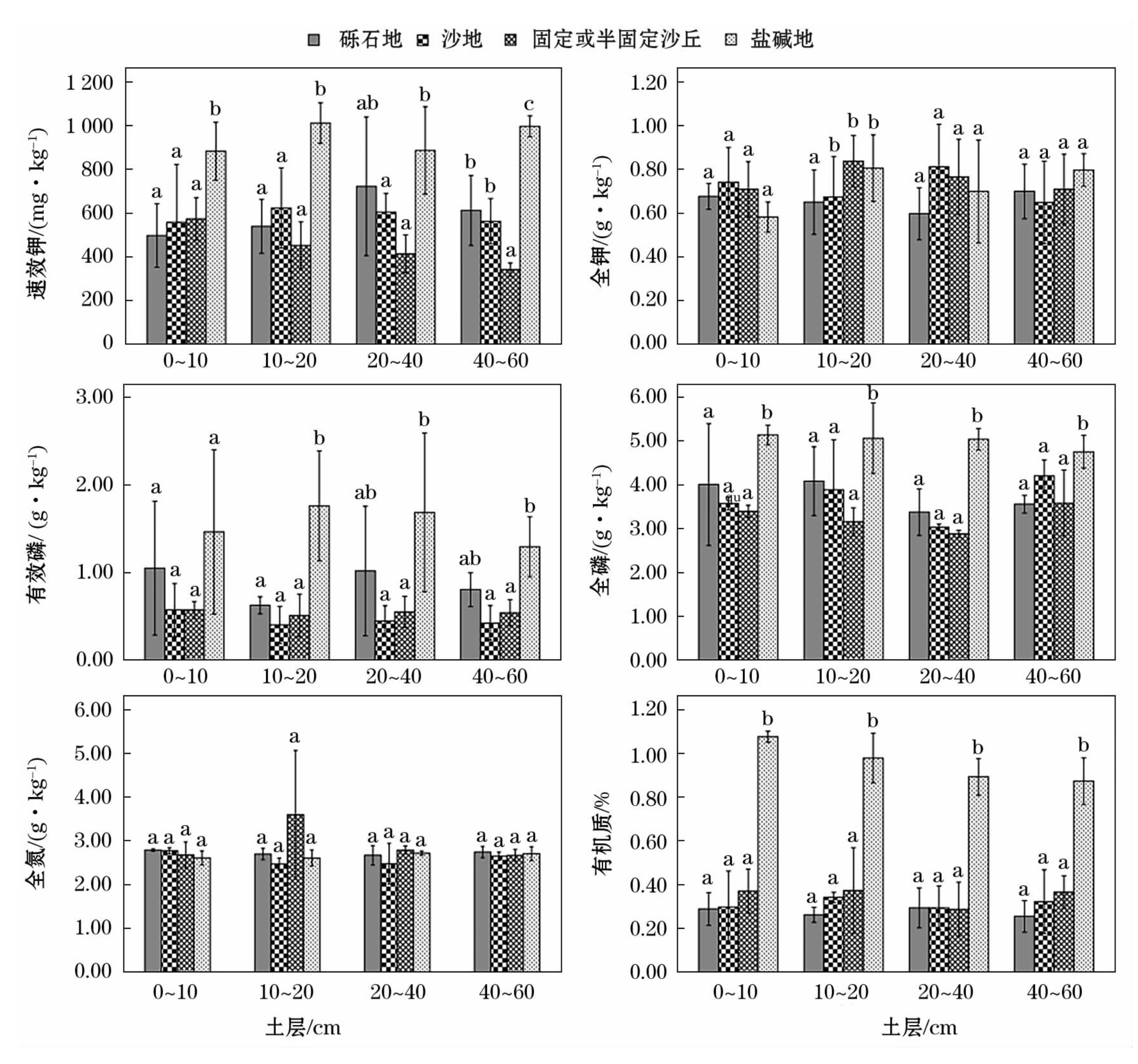


图 2　不同立地类型黑果枸杞群落土壤因子

Fig. 2　Soil factors under different site types of *Lycium ruthenicum* communities

之间差异性不显著；在较深土层（40～60 cm）中盐碱地的含量最高，固定或半固定沙丘地含量最低，两者之间以及与其他2个立地类型之间具显著性差异（$P<0.05$），而覆沙地和砾石地之间差异不显著。② 在10～20 cm土层中盐碱地的土壤有效磷含量显著高于砾石地、覆沙地及固定或半固定沙丘地（$P<0.05$）；在20～40 cm和40～60 cm土层中，盐碱地有效磷含量显著高于覆沙地和固定或半固定沙丘地（$P<0.05$），与砾石地之间差异不显著（$P>0.05$）。③ 在各土层中，盐碱地的土壤全磷和有机质含量均显著高于其他立地类型（$P<0.05$），其他3种立地类型各土层之间差异不显著。④ 全钾、全氮含量在不同立地类型各土层间差异均不显著。

2.4 不同立地类型黑果枸杞群落土壤水分特征

从整体上来看（图3），不同立地类型土壤含水率随着土层深度的增加而增加，其中砾石地、固定或半固定沙丘地土壤含水率随着土层深度的增加呈现出明显的递增趋势，分别从0～10 cm土层的0.24%和0.16%增长到40～60 cm土层的1.87%和3.51%；覆沙地土壤含水率随着土层深度的增加并没有表现出明显的递增趋势，但与土层0～10 cm相比，其余各土层土壤含水率均有所增加，分别增长了1.49、0.82和1.35倍；盐碱地土壤含水率变化幅度较小，各层含水率为1.03%～1.28%，且随着土壤深度增加土壤含水率先减小后增大。

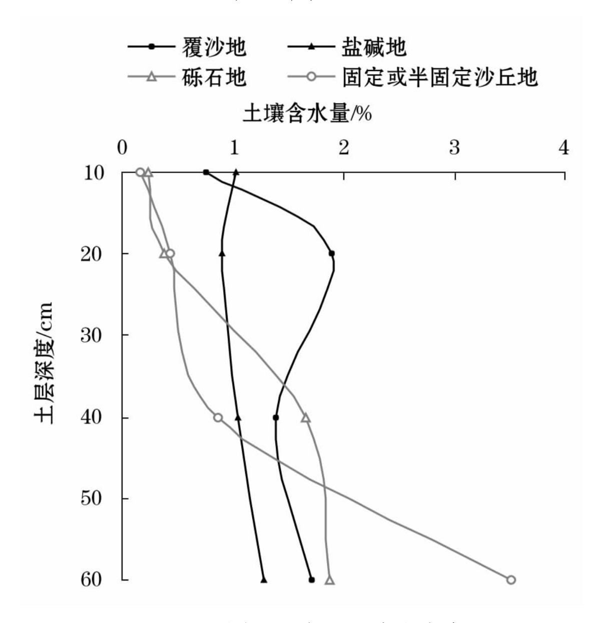


图3 不同立地类型土壤含水率

Fig. 3 Soil moisture under different site types

对不同立地类型土壤含水率差异进行分析，结果表明在0～10 cm土层中，盐碱地土壤含水率显著高于其他立地类型（$P<0.05$），覆沙地、砾石地和固定或半固定沙丘地之间没有显著差异，但0～10 cm土层中，4个立地类型土壤含水率在0.16%～1.03%之间，其差异性可能不具有生态学意义；而其余各土层中，不同立地类型土壤含水率均没有统计学差异。

2.5 不同立地类型黑果枸杞形态学特征与土壤因子的关系

采用逐步多元回归方法分析不同立地类型黑果枸杞株高、冠幅与土壤因子的关系，结果表明（表5）：在0～60 cm土层中黑果枸杞株高、冠幅与土壤因子之间相关性不显著（$P>0.05$）；而对不同土层进一步分析表明，黑果枸杞株高、冠幅与土壤因子之间的相关性表现出不同的变化趋势，且不同土层之间其相关性也不相同。

（1）黑果枸杞株高与土壤因子的关系：在0～10 cm、10～20 cm土层，株高与土壤含水率呈现显著正相关关系，且10～20 cm土层系数高于0～10 cm；

表5 黑果枸杞特征与土壤因子多元线性回归分析

Tab. 5 Multiple linear regression analysis on the characteristics of *Lycium ruthenicum* and soil factors

黑果枸杞特征	土层/cm	多元回归方程	F	P
株高/cm	0～10	$H=1.55+0.014X_1-0.39X_2+0.43X_4+0.11X_5+0.42X_6+0.006X_7$	22.93	<0.01
	10～20	$H=16.13+0.12X_1+17.09X_2-6.07X_3+12.73X_4+0.27X_5+6.63X_6+0.21X_7$	22.93	<0.01
	20～40	$H=0.198X_2+0.26X_4+0.088X_5-0.013X_7$	11.60	<0.01
	40～60	0		
冠幅/cm	0～10	$P=-18.28+18.04X_4$	8.55	<0.01
	10～20	$P=9.84+7.68X_1+10.21X_2-3.64X_3-7.62X_4+0.17X_5+3.99X_6+0.13X_7$	12.68	<0.01
	20～40	0		
	40～60	0		

注：X_1表示土壤含水率（%）；X_2表示速效钾（$mg \cdot kg^{-1}$）；X_3表示有效磷（$mg \cdot kg^{-1}$）；X_4表示全钾（$g \cdot kg^{-1}$）；X_5表示全磷（$g \cdot kg^{-1}$）；X_6表示全氮（$g \cdot kg^{-1}$）；X_7表示有机质（%）；0表示回归过程中没有变量进入回归方程。

在0~10 cm、10~20 cm和20~40 cm土层中随着土层深度增加,黑果枸杞株高与土壤有机质、速效钾、全磷和全钾含量呈现显著正相关关系,且系数先增大后减小;在0~10 cm和10~20 cm土层,黑果枸杞株高与土壤全氮含量具有显著正相关关系,且10~20 cm土层系数高于0~10 cm;在40~60 cm土层中,黑果枸杞株高与土壤因子无显著相关关系。

(2)黑果枸杞冠幅与土壤因子的关系:在0~10 cm土层,黑果枸杞冠幅只与土壤全钾含量具有显著的正相关关系,与土壤速效钾、有效磷、全磷、全氮、有机质及土壤含水量均无显著的相关性;在10~20 cm土层中,黑果枸杞冠幅与土壤速效钾、全磷、有机质及土壤含水量呈显著正相关关系;在20~40 cm和40~60 cm土层中,黑果枸杞冠幅和土壤因子均没有显著相关关系。

3 讨 论

植物生长由不同的原因和力量所作用,例如种群自身的生物学特征,种间、种内对水分和养分的竞争,食草动物及环境异质等[17],植被群落的科、属、种结构不仅能反应植物群落特征,同时也能体现出植物群落所在的生境条件[18]。研究表明本研究区植被物种组成简单,4个不同立地类型中共有植物12科24属28种,无乔木层和高大灌木层,矮小的灌木层占有绝对优势[19],物种构成表现为多数种属于少数科,少数种属于多数科,并且很多种为单属单科,这种植被结构与何芳兰等[20]、郭春秀等[21]对西北干旱地区植被特征研究结果相一致。从不同立地类型的黑果枸杞群落组成中看,黑果枸杞在覆沙地和固定或半固定沙丘地中为群落的优势种,在砾石地中为亚优势种,在盐碱地中为主要伴生种,因此,黑果枸杞对该区域植被群落结构、生态系统功能及稳定性具有重要作用。

土壤是生态系统中众多生态过程的载体和植物生长发育的基础[22],土壤质量的高低直接影响黑果枸杞群落的稳定性和生长状况。本研究发现:① 黑果枸杞密度是盐碱地最大,覆沙地次之,固定或半固定沙丘地和砾石地中最小;② 黑果枸杞株高是固定或半固定沙丘地最高,盐碱地次之,覆沙地和砾石地最低;③ 黑果枸杞冠幅是固定或半固定沙丘地最大,盐碱地次之,砾石地和覆沙地最小。在盐碱地中,土壤速效钾、有效磷、全磷和有机质含量均显著高于其他的立地类型,土壤养分较为充足,因此其样地内植被种类较多,群落中共出现了13种植物,物种间竞争加剧;另一方面,盐碱地中土壤含水量较少,虽然黑果枸杞密度在4种立地类型中最大,但株高和冠幅均不突出,且不是优势种或亚优势种;覆沙地、固定或半固定沙丘地土壤条件差异没有显著性,这2种立地类型中植被种类少,仅出现7种植物,多样性和丰富度指数在4种立地类型中也最小,对水分养分竞争不激烈,有利于黑果枸杞生长。此外,在40~60 cm土层中,固定或半固定沙丘地土壤含水率显著高于其他3种类型,有利于黑果枸杞的生长,表现特征是:覆沙地黑果枸杞密度较大,但株高和冠幅偏小,固定或半固定沙丘地黑果枸杞密度不大,但长势良好,株高和冠幅均为4种立地类型中最大的;砾石地黑果枸杞分布分散,密度最小,且长势明显小于其他3种立地类型,究其原因可能是在砾质地类型中植物种类多,密度大,对水分竞争激烈,加上砾质地不利于水分贮存,导致黑果枸杞长势相对较差。

黑果枸杞的生长状况受到土壤水分、养分等土壤因子的影响和制约,利用逐步多元线性回归的方法,对黑果枸杞生长状况与土壤因子之间的关系进行分析,结果表明:在10~20 cm土层中,黑果枸杞株高和冠幅与多种土壤因子相关,这与Li等[23]的研究中的结论相一致。在0~10 cm土层中,黑果枸杞冠幅只与土壤全钾含量有显著的正相关关系;虽然株高在0~10 cm和20~40 cm土层与土壤因子之间有显著相关关系,但其相关系数只有0.006~0.42,相关关系较弱,超过40 cm土层的土壤因子与黑果枸杞株高,以及超过20 cm土层的土壤因子与黑果枸杞冠幅之间均没有显著的相关关系。一方面,因为植物枯枝落叶大量归还土壤,增加了土壤养分的补给,枯枝落叶的补给首先进入土壤浅层,使浅层土壤养分含量增加;另一方面,黑果枸杞主要依靠其水平根不断从土壤中吸收水分和养分,并促使其不断增长[24-25]。何文革等[26]针对黑果枸杞根系组成及分布的研究指出,干旱半干旱地区沙地、砾石地和沙丘地中,黑果枸杞水平根分布深度在0~30 cm,有些甚至不足10 cm。因此,本研究中黑果枸杞根系主要以吸收和利用20 cm以内土层土壤养分促进其生长发育,且黑果枸杞株高、冠幅与多种土壤因子含量呈显著的相关关系,同时也说明在黑果枸杞生长的过程中,其与土壤条件的改善形成了一种互

相促进、相辅相成的关系。

4 结 论

民勤绿洲外围荒漠区不同立地类型黑果枸杞群落结构比较简单,植被物种分布不均匀,科属组成较为分散。黑果枸杞在不同立地类型群落中地位不同,但总体优势较为明显,在维护生态系统的功能和稳定中具有重要作用。在4种不同立地类型样地中,黑果枸杞株数在盐碱地中最多,覆沙地次之,固定或半固定沙丘地和砾石地中最少;而平均株高由高到低依次是固定或半固定沙丘地、盐碱地、覆沙地和砾石地;平均冠幅分布与平均株高类似。

不同立地类型中,黑果枸杞生长态势受土壤水分、土壤氮、磷、钾和有机质养分等土壤因子的影响,且在10~20 cm土层中该影响最为密切,因此,保持浅层土壤中水分和养分,对保护和促进黑果枸杞种群具有重要意义。

参考文献(References):

[1] 李丹,张勃,戴声佩,等.民勤绿洲耕地荒地退耕还林地土壤肥力及物理特性比较研究[J].土壤,2011,43(3):398-405.[Li Dan, Zhang Bo, Dai Shengpei, et al. Comparison of soil fertility and physical properties of farmland, wastelandand returning farmland to forest in Minqin Oasis[J]. Soils, 2011, 43(3):398-405.]

[2] 张凯,冯起,吕永清,等.石羊河下游民勤湖区土壤特性的空间分异研究[J].土壤,2012,44(5):838-845.[Zhang Kai, Feng Qi, Lyu Yongqing, et al. Study on spatial variations of soil properties in Minqin lake area of Shiyang river lower reaches[J]. Soils, 2012, 44(5):838-845.]

[3] 张莹花,刘世增,纪永福,等.石羊河中游河岸芦苇(*Phragmiles auslralis*)群落空间格局[J].中国沙漠,2016,36(2):342-348.[Zhang Yinghua, Liu Shizeng, Ji Yongfu, et al. Spatial distribution pattern and spatial association of *Phragmites australisin* the middle reaches of Shiyang river[J]. Journal of Desert Research, 2016, 36(2):342-348.]

[4] 林丽,张裴斯,晋玲,等.黑果枸杞的研究进展[J].中国药房,2013,24(47):4493-4497.[Lin Li, Zhang Peisi, Jin Ling, et al. Research progress of *Lycium ruthenicum*[J]. China Pharmacy, 2013, 24(47):4493-4496.]

[5] 王桔红,陈文.黑果枸杞种子萌发及幼苗生长对盐胁迫的响应[J].生态学杂志,2012,31(4):804-810.[Wang Juhong, Cheng Wen. Responses of seed germination and seedling growth of *Lycium ruthenicum* to salt stress[J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(4):804-810.]

[6] 陈斌.柴达木盆地资源植物黑果枸杞育苗技术[J].北方园艺,2008(4):138-139.[Chen Bin. Seedling technology of *Lycium ruthenicum* in qaidam basin[J]. Northern Horticulture, 2008(4):138-139.]

[7] 陈红军,侯旭杰,白红进,等.黑果枸杞中的几种营养成分的分析[J].中国野生植物资源,2002,21(2):55-55.[Chen Hongjun, Hou Xujie, Bai Hongjin, et al. Analysis of several nutrients of *Lycium ruthenicum*[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2002, 21(2):55-55.]

[8] 陈红军,陈新萍,王小明,等.黑果枸杞中色素提取工艺及其性质研究[J].中国野生植物资源,2000,19(6):44-46.[Chen Hongjun, Chen Xinping, Wang Xiaoming, et al. Study on extraction technology and properties of pigment from *Lycium ruthenicum*[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2000, 19(6):44-46.]

[9] Wu Tao, Lyu Haiyang, Wang Fengzhong, et al. Characterization of polyphenols from *Lycium ruthenicum* fruit by UPLC-Q-TOF/MS(E) and their antioxidant activity in Caco-2 Cells[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2016, 64(11):2280-2288.

[10] 马俊梅,郭春秀,何芳兰,等.民勤绿洲外围不同立地类型黑果枸杞种群分布格局[J].干旱区研究,2019,36(1):122-130.[Ma Junmei, Guo Chunxiu, He Fanglan, et al. Spatial distribution pattern of *Lycium ruthenicum* in different site types in periphery of the Minqin oasis[J]. Arid Zone Research, 2019, 36(1):122-130.]

[11] 王蒙,董治宝,罗万银,等.巴丹吉林沙漠南缘植被物种多样性及其与土壤特性的关系[J].西北植物学报,2015,35(2):379-388.[Wang Meng, Dong Zhibao, Luo Wanyin, et al. Species diversity of vegetation and its relationship, with soil characteristics in the southern marginal zone of the Badain Jaran desert[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2015, 35(2):379-388.]

[12] 高万林,曾新德,马存世,等.民勤荒漠草地退化原因及治理对策[J].甘肃林业科技,2011,36(4):24-27.[Gao Wanlin, Zeng Xinde, Ma Cunshi, et al. Degradation causes and control countermeasures of desert grassland in Minqin[J], Joural of Gansu Forestry Science and Technology, 2011, 36(4):24-27.]

[13] Mcintosh J T C P. An Upland Forest Continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin[J]. Ecology, 1951, 32(3):476-496.

[14] Shannon C E, The mathematical theory of communication. 1963[J]. Bell Labxs Technical Journal, 1950, 3(9):31-32.

[15] Pielou E C, Levandowsky M. Ecological Diversity[J]. Quarterly Review of Biology, 1975, 25(3):306.

[16] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2005:23-107.[Bao Shidan. Soil Agrochemical Analysis[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2005:23-107.]

[17] Klaas B A, Danielson B J. The tempo and mode of gopher mound production in a tallgrass prairie remnant[J]. Ecography, 2010, 23(2):246-256.

[18] 何芳兰,刘世增,李昌龙,等.甘肃河西戈壁植物群落组成特征及其多样性研究[J].干旱区资源与环境,2016,30(4):74-78.[He Fanglan, Liu Shizeng, Li Changlong, et al. Study on composition and diversity of phytocoenosium in Gobi region of Hexi, Gansu[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016, 30(4):74-78.]

[19] 张元恺,张杰,姚泽.民勤沙区绿洲—荒漠过渡带典型植被群落物种多样性特征分析[J].中国农学通报,2012,28(28):1-7.[Zhang Yuankai, Zhang Jie, Yao Ze. Analysis on the species diversity characteristics of typical plant communities at desert-oasis ecotone in Minqin desert[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(28):1-7.]

[20] 何芳兰,李治元,赵明,等.民勤绿洲盐碱化退耕地植被自然演替及土壤水分垂直变化研究[J].中国沙漠,2010,30(6):1374-1380.[He Fanglan,Li Zhiyuan,Zhao Ming,et al. Natural vegetation succession and soil water change in fallow salinzation cropland in Minqin oasis Gansu province[J]. Journal of Desert Research,2010,30(6):1374-1380.]

[21] 郭春秀,姚拓,马俊梅,等.石羊河下游不同立地类型黑果枸杞群落结构及物种多样性特征[J].草地学报,2017,25(3):529-537.[Guo Chunxiu,Yao Tuo,Ma Junmei,et al. Characteristics and species diversity of *Lycium ruthenicum* on different types of desert grassland in Shiyang river[J]. Acta Agrestia Sinica,2017,25(3):529-537.]

[22] 胡婵娟,郭雷.植被恢复的生态效应研究进展[J].生态环境学报,2012,21(9):1640-1646.[Hu Chanjuan,Guo Lei. Advances in the research of ecological effects of vegetation restoration[J]. Ecology and Environmental Sciences,2012,21(9):1640-1646.]

[23] Li X R, Jia X H, Dong G R. Dong,et al. Influence of desertification on vegetation pattern variations in the cold semi-arid grasslands of Qinghai-Tibet Plateau, North-west China[J]. Journal of Arid Environments,2006,64(3):505-522.

[24] 戴国礼,秦垦,曹有龙,等.黑果枸杞的花部结构及繁育系统特征[J].广西植物,2013,33(1):126-132.[Dai Guoli,Qin Ken,Cao Youlong,et al. Characteristics of floral dynamic and breeding system of *Lycium ruthenicum*[J]. Guihaia,2013,33(1):126-132.]

[25] 顾美英,唐光木,冯雷,等.南疆野生黑果枸杞果实抗氧化成分与土壤理化性质、微生物特征的相关性[J].新疆农业科学,2017,54(10):1930-1940.[Gu Meiying,Tang Guangmu,Feng Lei,et al. Relativity study on antioxidant composition of wild *Lycium ruthenicum* Murr. and soil physico-chemical properties and microbial characteristics in Southern Xinjiang[J]. Xinjiang Agricultural Sciences,2017,54(10):1930-1940.]

[26] 何文革,那松曹克图,吾其尔,等.新疆焉耆盆地黑果枸杞灌丛与根系组成及分布特征[J].草业科学,2015,32(7):1192-1198.[He Wenge,Nasongcaoketu,Wuqier,et al. The composition and distribution characteristics of *Lycium ruthenicum* shrub and root system in Yangqi basin,Xinjiang[J]. Pratacultural Science,2015,32(7):1192-1198.]

Relationship between morphological characteristics of *Lycium ruthenicum* and soil factors in Minqin, Gansu, Northwest China

MA Jun-mei[1,2], GUO Chun-xiu[1,2], XIAO Bin[2], JIN Hong-xi[2], ZHAO Peng[1,2], MA Jian-ping[2]

(1. *State Key Laboratory Breeding Base of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating*, *Wuwei* 733000, *Gansu*, *China*; 2. *Gansu Desert Control Research Institute*, *Lanzhou* 730070, *Gansu*, *China*)

Abstract: Species composition, growth characteristics, and soil factors of *Lycium ruthenicum* communities at four different sites in Minqin oasis were investigated to explore the effects of soil factors on *L. ruthenicum* morphology. The results were as follows. (1) There were 28 species belonging to 24 genera of 12 families across the four sites, with many single representative species and genera. Most plants belonging to Chenopodiaceae and Zygophyllaceae were adapted to arid-salinized soils; there were no trees and tall shrubs. (2) Species richness was significantly higher in gravel land than in salinized desert, sandy land, and fixed or semi-fixed dunes ($P<0.05$); species diversity in salinized desert was significantly lower than that in gravel land but higher than that in sandy land and fixed or semi-fixed dunes ($P<0.05$). (3) Growth characteristics of *L. ruthenicum* showed the following trends across the four sites: density-salinized desert > sandy land > fixed or semi-fixed dunes > gravel land; plant height-fixed or semi-fixed dunes > salinized desert > sandy land > gravel land; and crown width-fixed or semi-fixed dunes > salinized desert > gravel land > sandy land. (4) Available potassium and phosphorus, total phosphorus, and organic matter contents were significantly higher in salinized desert than in the other types ($P<0.05$). Available potassium content was significantly higher in sandy and gravel lands than in fixed or semi-fixed dunes ($P<0.05$). Available phosphorus content was significantly higher in gravel land than in sandy land and fixed or semi-fixed dunes ($P<0.05$). Total potassium and nitrogen contents did not significantly differ across the four sites ($P>0.05$). Moreover, different soil factors varied across different soil layers. (5) Changes in soil moisture content with soil depth differed across sites, exhibiting an increase with increasing soil depth in gravel land and fixed or semi-fixed dunes, a fluctuating trend in sandy land, and little difference across soil depths in salinized desert. (6) Plant height and crown width of *L. ruthenicum* were affected by various soil factors such as soil moisture and soil nitrogen, phosphorus, potassium, and organic matter contents, particularly at a depth of 10-20 cm.

Key words: oasis periphery; different site type; *Lycium ruthenicum*; edaphic factor; Minqin; Gansu